

НАЦІОНАЛЬНЕ АГЕНТСТВО З ПИТАНЬ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ
ПРИ ПРЕЗИДЕНТОВІ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

ДАЧУК

Володимир Степанович

УДК 519.6

ДІАКОПТИЧНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ
ГЛОБАЛЬНОГО КРУГООБІГУ ВУГЛЕЦЮ В БІОСФЕРІ

Спеціальність: 01.05.02 — математичне моделювання та
обчислювальні методи

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів — 1997

АВ 39.060

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному науково-дослідному інституті інформаційної інфраструктури Національного агентства з питань інформатизації при Президентові України.

Науковий керівник: докт. техн. наук, ст. наук. співр.
Бунь Ростислав Адамович,
Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури, заст. директора

Офіційні опоненти: докт. техн. наук, професор
Стахів Петро Григорович,
Державний університет "Львівська політехніка", зав. кафедрою

канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співр.
Войчишин Казимир Станіславович,
Фізико-механічний інститут ім.Г.В.Карпенка НАН України, зав. відділом

Провідна установа: Інститут кібернетики ім.В.М.Глушкова
НАН України, відділ системних методів дослідження та проектування складних систем, м.Київ

Захист відбудеться "26" чудня 1997 р. о 15²⁰ год. на засіданні Спеціалізованої вченої ради Д 35.813.01 при Державному науково-дослідному інституті інформаційної інфраструктури НАІ при Президентові України (290601, м.Львів, вул.Наукова, 5^а).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту (290601, м.Львів, вул.Наукова, 5^а).

Автореферат розісланий "25" листопада 1997 р.

Т.в.о. вченого секретаря
Спеціалізованої вченої ради,
докт.техн.наук

З.А.Стоцько

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00737606 (Т)



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Кругообіг вуглецю в глобальному масштабі — це найважливіший для людства біогеохімічний цикл. В ньому беруть участь невеликі за масою, але досить рухливі компоненти атмосфери, високочутливі до порушень рівноваги, спричинених людською діяльністю. Вони можуть істотно впливати на погоду та клімат планети. Атмосфера обмінюється вуглецем з рослинністю суші, ґрунтом та океанами. На даний час по всьому світу створено мережу вимірювальних станцій для виявлення суттєвих змін в кругообігу вуглецю, від якого в буквальному розумінні залежить майбутнє людини на Землі.

Концентрація вуглекислого газу в атмосфері постійно зростає і на даний час на 25% перевищує величину, що спостерігалася протягом першої половини минулого століття (до початку так званої індустріальної ери). Спалювання різних видів палива та зміни в землекористуванні (зменшення площ лісів та збільшення площ сільськогосподарських угідь) спричинили велику емісію CO_2 в атмосферу. Ріст концентрації CO_2 , який спостерігається за останні 100 років, становить майже половину від загальної його емісії за рахунок природних факторів за той самий період. Оскільки продовження росту концентрації атмосферного CO_2 може призвести до глобальних кліматичних змін, то суттєвою є проблема прогнозу таких змін відповідно до майбутніх сценаріїв емісії вуглекислого газу в атмосферу в результаті господарської діяльності людства.

Протягом останніх десятиліть з'явилася низка математичних моделей, які описують кругообіг вуглецю в біосфері, як на глобальному, так і на регіональному рівнях. За ступенем деталізації їх можна класифікувати наступним чином: боксові та географічно-розподілені. Серед проблем, що виникають при розробці та реалізації таких моделей важливе місце займає проблема моделювання як прямих, так і зворотних зв'язків між концентрацією вуглекислого газу в атмосфері, рослинністю суші, змінами землекористування та клімату. У відомих моделях симулюються тільки окремі з них, що пов'язано з певними труднощами в зборі та обробці інформації про різні рослинні форми планети.

В дисертаційній роботі, використовуючи діакоптичний підхід (метод розбиття), розроблено математичну модель глобального кругообігу вуглецю в біосфері, яка дозволяє здійснювати імітаційне мо-

делювання із врахуванням вказаних вище прямих та зворотних зв'язків.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася в рамках проєкту 05.02.02/002К-95 Державної науково-технічної програми "Перспективні інформаційні технології і системи" ДКНТПП України та господарських договорів з Національним агентством з питань інформатизації при Президентові України.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є створення математичної моделі глобального кругообігу вуглецю в біосфері, яка описує процеси обміну вуглецем на регіональному та глобальному рівнях і враховує прямі та зворотні зв'язки між концентрацією вуглецю в атмосфері, рослинністю суші, кліматичними змінами в окремих регіонах планети та змінами в землекористуванні.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- побудова математичної моделі регіонального кругообігу вуглецю в біосфері;

- побудова математичної моделі глобального кругообігу вуглецю з використанням діакоптичного підходу;

- вибір та аналіз апроксимаційних залежностей виразів для потоків вуглецю в моделі регіонального кругообігу;

- розробка алгоритмів та програмних засобів для здійснення імітаційного моделювання кругообігу вуглецю в окремому регіоні.

Методи досліджень. Основу методології досліджень складє розроблений в дисертаційній роботі діакоптичний підхід до моделювання глобального кругообігу вуглецю в біосфері, який дає можливість розчленувати глобальний кругообіг на сукупність регіональних кругообігів вуглецю, що взаємодіють між собою через атмосферу. Також широко використовуються методи обчислювальної математики, програмування та теорії апроксимації.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- запропоновано і розвинуто діакоптичний підхід до моделювання глобального кругообігу вуглецю в біосфері, який дозволяє розв'язувати весь комплекс задач дослідження вуглецевого циклу в біосфері та враховувати фактори, що на нього впливають, як на глобальному, так і на регіональному рівнях;

- розроблено метод формування математичної моделі кругообігу вуглецю на регіональному рівні, який базується на розбитті кожного регіону на ряд трав'яних і лісових підсистем;

- розроблено метод формування математичної моделі глобального кругообігу вуглецю на основі регіональних моделей та рівнянь зв'язку, що відображають зв'язок сусідніх регіонів через атмосферу;
- проаналізовано та обґрунтовано вибір аналітичних виразів для опису потоків вуглецю між окремими блоками системи "атмосфера-рослина-грунт" в межах регіону;
- розроблено метод підрахунку потоків вуглецю між регіонами з використанням "рози вітрів";
- створено алгоритми імітаційного моделювання кругообігу вуглецю в окремому регіоні;
- досліджено залежності фотосинтезу від температури, освітленості та вмісту вуглекислого газу в атмосфері; часові залежності фотосинтетично-активної радіації, продуктивності і відмирання рослин, розкладу гумусу та мертвої органічної речовини.

На захист виносяться:

- діакоптичний підхід до моделювання глобального біосферного циклу вуглецю;
- математична модель кругообігу вуглецю на регіональному рівні;
- математична модель глобального кругообігу вуглецю на основі регіональних моделей та з врахуванням зв'язку регіонів через атмосферу;
- метод оцінки потоків вуглецю між регіонами на основі "рози вітрів";
- аналітичні залежності для опису потоків вуглецю в регіональній моделі;
- алгоритм числового розв'язування рівнянь математичної моделі глобального кругообігу вуглецю;
- алгоритми імітаційного моделювання кругообігу вуглецю в окремому регіоні.

Практична цінність. Розроблений діакоптичний підхід до моделювання кругообігу вуглецю дає можливість враховувати сезонні зміни параметрів моделі, специфічні відмінності окремих регіонів, а також здійснювати імітаційне моделювання:

- впливу екологічних катастроф в окремих регіонах на клімат планети;
- результатів керованого і некерованого антропогенного впливу на природу;
- впливу на клімат планети таких факторів, як зміна площ сільськогосподарських угідь, вирубування лісів, лісові пожежі, меліоративні

роботи, зростаючі енергетичні потреби людства.

Запропоновані і розвинуті в роботі підходи до імітаційного моделювання кругообігу вуглецю на регіональному рівні можуть бути використані для побудови математичних моделей різних регіонів планети з врахуванням специфіки протікання біохімічних процесів в них.

Запропоновані в дисертації моделі та методики їх побудови можуть застосовуватися для дослідження широкого класу задач моделювання біогеохімічних циклів азоту, фосфору, кисню, води та інших основних хімічних елементів.

Реалізація результатів роботи.

Розроблені в дисертаційній роботі методи та алгоритми покладено в основу створених програмних засобів для імітаційного моделювання кругообігу вуглецю в окремому регіоні та аналізу залежностей окремих складових цього біогеохімічного циклу. Результати досліджень використано в ході виконання господарських договорів та проєктів науково-технічних програм.

Особистий внесок. В усіх працях, написаних у співавторстві, автори взяли рівну творчу участь. Крім того автору дисертації належить: в [1] — підходи до оцінки потоків вуглецю між окремими регіонами; в [2] — аналіз аналітичних залежностей для потоків вуглецю в межах регіональних екосистем; в [3, 7] — алгоритми імітаційного моделювання.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на Четвертому україно-російсько-китайському симпозиумі з космічної науки і технології (Київ, 1996 р.), Всеукраїнській науковій конференції “Розробка та застосування математичних методів в науково-технічних дослідженнях” (Львів, 1995), Міжнародній конференції “Системний аналіз в екології” (Севастополь, 1996 р.), Другій міжнародній конференції “Теорія і техніка передачі, прийому та обробки інформації” (Туапсе, 1996), Другій українській конференції з автоматичного керування “Автоматика-95” (Львів, 1995), Третій українській конференції з автоматичного керування “Автоматика-96” (Севастополь, 1996), Всеукраїнській науковій конференції “Комп’ютерні технології друкарства: алгоритми, сигнали, системи” (Львів, 1996).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 10 наукових праць.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чо-

тирьох розділів, висновків, додатку, та містить 154 сторінки машинописного тексту, 25 рисунків, 6 таблиць і список літератури з 143 назв.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено основні питання, які становлять предмет дослідження; обґрунтовується їх важливість та актуальність. Вказано мету дисертаційної роботи і сформульовано положення, які виносяться на захист; подано короткий зміст роботи.

У першому розділі подається загальна характеристика вуглецевого циклу, головних потоків вуглецю та їх часових характеристик; дається огляд праць зарубіжних та вітчизняних авторів, які присвячені цій проблемі; проводиться порівняльний аналіз відомих підходів до моделювання кругообігу вуглецю в біосфері. На основі детального аналізу стану проблеми сформульовано конкретні задачі математичного моделювання кругообігу вуглецю в біосфері.

Розглядаються глобальні моделі циркуляції атмосфери, які описують біофізичну взаємодію між поверхнею суші та атмосферою; географічно розподілені моделі рослинних ландшафтів, які відображають зміни в рослинному покриві суші, викликані змінами кліматичних умов; біогеохімічні моделі наземних екосистем, які симулюють потоки вуглецю та мінеральних речовин всередині та між рослинністю, детритом та ґрунтом. Показується обмеженість даних моделей при їх застосуванні до вивчення прямих та зворотних зв'язків між кліматом і рослинним покривом суші.

Розкривається підхід Будико до моделювання глобальної циркуляції атмосфери, що базується на двох кліматичних параметрах: радіаційному балансі та індексі сухості. Показано, що ці параметри визначають баланс енергії та води, і вони пов'язані з продуктивністю та розподілом рослинності. Радіаційний баланс визначається різницею між адсорбованою та довгохвильовою радіацією. Показано також, що специфічні величини індексу сухості визначають головні геоботанічні зони в тундрі, лісах, степах, напівпустелях, пустелях. Різниця в радіаційному балансі всередині кожної зони визначають її фізіологію. Наприклад, ліс може бути бореальним, помірним, субтропічним або тропічним, залежно від температурної зони.

Описано структуру моделі Крапівіна-Тарко глобального круго-

обігу вуглецю в системі “атмосфера-рослини-грунт”, яка береться за основу в дисертаційній роботі при побудові регіональної математичної моделі. В цій моделі виділяються такі резервуари вуглецю: атмосфера, жива трав'яна фітомаса, підстилка і кореневі залишки трав'яної екосистеми, гумус трав'яної екосистеми, зелена фітомаса лісової екосистеми, деревина і корені живих дерев, підстилка і кореневі залишки лісової екосистеми, гумус лісової екосистеми.

Показано, що основними недоліками відомих підходів до побудови моделей вуглецевого циклу є ігноруванням в основному: неоднорідним характером протікання біохімічних процесів в різних регіонах планети, сезонними змінами параметрів моделей, стохастичним характером окремих складових вуглецевого циклу.

В другому розділі пропонується і розвивається діакноптичний підхід до моделювання кругообігу вуглецю в біосфері. При цьому математична модель глобального кругообігу формується на основі регіональних моделей та рівнянь, що відображають взаємний зв'язок регіонів через атмосферу.

В запропонованому підході вся поверхня земної суші (або її частина) розбивається на окремі (відносно однорідні за своєю структурою) регіони, кількість яких в принципі не обмежена. Припускається, що більша частина біогеоценозів має подібні функціональні залежності, але для різних регіонів і підсистем параметри цих залежностей відрізняються. Для кожного регіону, в залежності від його специфіки, додаються чи виключаються окремі блоки, будується своя система диференціальних рівнянь, змінюються параметри.

Також припускається, що регіональна система “атмосфера-рослини-грунт” складається з ряду підсистем двох типів (трав'яних і лісових), котрі взаємопов'язані між собою через атмосферу. Число трав'яних підсистем рівне n_{rg} , число лісових підсистем — n_{rf} .

Нехай кожна трав'яна система розбита на ряд блоків: вуглець живої фітомаси рослин, вуглець підстилки і корневих залишків, вуглець гумусу. Відповідно, кожна лісова система складається з наступних блоків: вуглець зеленої фітомаси, вуглець деревини і коренів живих рослин, вуглець підстилки і корневих залишків, вуглець гумусу. Оскільки, кушові та лісові системи складаються з однакових блоків, то надалі такі системи для простоти називатимуться лісовими.

Схема регіонального кругообігу вуглецю в такому випадку має вигляд, представлений на рис.1. Номери блоків означають тут наступне: 1 — атмосфера; 2-4 — складові трав'яних підсистем (відпо-

відно, трава, підстилка і кореневі залишки, гумус); 5-8 — складові лісових підсистем (відповідно, листя, деревина і корені, підстилка і кореневі залишки, гумус); 9 — антропогенні і неантропогенні викиди вуглецю в атмосферу; 10 — сумарний потік вуглецю із сусідніх регіонів.

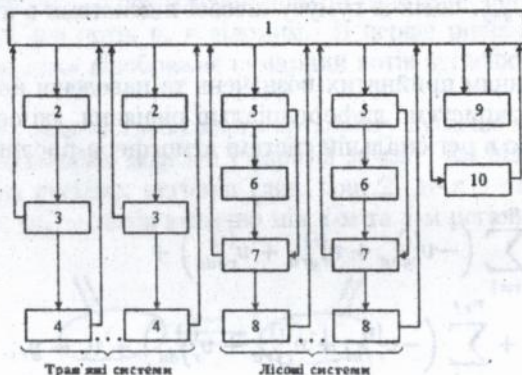


Рис.1. Схема регіонального кругообігу вуглецю

Доцільність розбиття регіону на окремі підсистеми зумовлена тим, що для кожного регіону, в принципі, відомо скільки в процентному відношенні займають території з тим чи іншим різновидом рослинного світу, що значно спрощує процедуру формування моделі.

Позначимо через x_{ra} вміст вуглецю в атмосфері над r -м регіоном, а вміст вуглецю в окремих блоках i -тої трав'яної чи лісової підсистеми цього регіону позначимо через $x_r^{(i)}$ з відповідними нижніми індексами. Отже, $x_{rg}^{(i)}$ — вміст вуглецю в окремих блоках трав'яної підсистеми ($x_{rgg}^{(i)}$ — в траві, $x_{rgr}^{(i)}$ — в підстилці і корневих залишках, $x_{rgd}^{(i)}$ — в гумусі), $x_{rf}^{(i)}$ — в окремих блоках лісових підсистем ($x_{rfl}^{(i)}$ — в листях, $x_{rfw}^{(i)}$ — в деревині та коренях живих рослин, $x_{rfr}^{(i)}$ — в підстилці та корневих залишках, $x_{rfd}^{(i)}$ — в гумусі), причому $i = 1, 2, \dots, n_{rg}$ для трав'яних підсистем та $i = 1, 2, \dots, n_{rf}$ для лісових підсистем. Через $v_{rg}^{(i)}$ та $v_{rf}^{(i)}$ з відповідними додатковими нижніми індексами позначимо швидкість надходження (потік) вуглецю з одного блоку в інший

в межах окремих трав'яних чи лісових підсистем. При цьому будемо використовувати додаткові нижні індекси, які означають наступне: a — атмосфера, g — трава, l — листя, w — деревина та корені, r — підстилка та кореневі залишки, d — гумус. Так, наприклад, потік вуглецю із атмосфери регіону у фітомасу трав'яних рослин позначимо через $v_{rgag}^{(i)}$, потік із гумусу лісової підсистеми в атмосферу — через $v_{rfd}^{(i)}$ і т.д.

Із врахуванням прийнятих позначень та наведеної на рис.1. діаграми потоків записуємо диференціальні рівняння, які описують кругообіг вуглецю в регіональній системі атмосфера-рослинність-грунт, у вигляді

$$\frac{dx_{ra}}{dt} = \sum_{i=1}^{n_{rg}} \left(-v_{ryug}^{(i)} + v_{rgra}^{(i)} + v_{rgda}^{(i)} \right) + \sum_{i=1}^{n_{rf}} \left(-v_{rfal}^{(i)} + v_{rfra}^{(i)} + v_{rfd}^{(i)} \right) + v_r + y_r;$$

$$\frac{dx_{rgg}^{(i)}}{dt} = -v_{rggr}^{(i)} + v_{rgag}^{(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, n_{rg};$$

$$\frac{dx_{rgr}^{(i)}}{dt} = -v_{rgrd}^{(i)} - v_{rgra}^{(i)} + v_{rggr}^{(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, n_{rg};$$

$$\frac{dx_{rgd}^{(i)}}{dt} = -v_{rgda}^{(i)} + v_{rgrd}^{(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, n_{rg};$$

$$\frac{dx_{rfl}^{(i)}}{dt} = -v_{rflw}^{(i)} - v_{rflr}^{(i)} + v_{rfal}^{(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, n_{rf};$$

$$\frac{dx_{rfw}^{(i)}}{dt} = -v_{rfwr}^{(i)} + v_{rflw}^{(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, n_{rf};$$

$$\frac{dx_{rfr}^{(i)}}{dt} = -v_{rfra}^{(i)} - v_{rfrd}^{(i)} + v_{rflr}^{(i)} + v_{rfwr}^{(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, n_{rf};$$

$$\frac{dx_{rfd}^{(i)}}{dt} = -v_{rfd}^{(i)} + v_{rfrd}^{(i)}, \quad i = 1, 2, \dots, n_{rf}.$$

Перше рівняння системи відображає динаміку зміни вмісту вуглецю в атмосфері, друге, третє та четверте рівняння — в компонентах трав'яних підсистем, а рівняння з п'ятого по восьме — в компонентах лісових підсистем. У першому рівнянні v_r — змінна, що

відображає притік вуглецю в атмосферу над регіоном з інших, не вказаних вище, джерел даного регіону. Такими можуть бути джерела як антропогенного, так і неантропогенного походження. Прикладом антропогенного джерела може служити вуглець, який виділяється в результаті інтенсивної господарської діяльності. Прикладом джерела неантропогенного походження може бути вулканічна діяльність. Припускається, що потік v_r є відомим. В перше рівняння входить також змінна y_r , яка відображає сумарний потік вуглецю із сусідніх регіонів.

Математична модель глобального кругообігу вуглецю формується на основі регіональних моделей і виразів зв'язку, що відображають взаємний вплив сусідніх регіонів (див. рис.2, де r — порядковий номер регіону, y_{ij} — потік вуглецю між i -м та j -м регіонами).

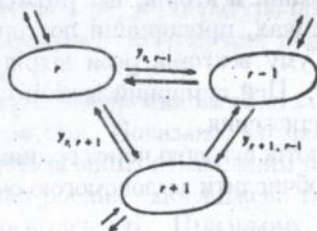


Рис.2. Схема взаємного впливу сусідніх регіонів

Кількість регіонів M , на які можна розбити поверхню суходолу, в принципі необмежена. Істотним фактором при розбитті на регіони є характерна специфіка (як якісна, так і кількісна) протікання в них біохімічних процесів.

Для спрощення подальших викладок математична модель регіонального кругообігу представляється у вигляді матричного рівняння

$$X'_r = F(X_r, v_r, y_r, t), \quad (1)$$

де F_r — матриця-стовпець нелінійних функцій; $X_r = \|x_{ra}, x_{rgg}, x_{ry}, x_{rgd}, x_{rft}, x_{rfv}, x_{rfr}, x_{rfd}\|^T$ — матриця-стовпець невідомих, причому $X_{rgg} = \|x_{rgg}^{(1)}, x_{rgg}^{(2)}, \dots, x_{rgg}^{(n_{rg})}\|$, $X_{rgr} = \|x_{rgr}^{(1)}, x_{rgr}^{(2)}, \dots, x_{rgr}^{(n_{rg})}\|$ і т.д.

Змінна y_r , яка входить в (1), відображає потоки вуглецю з сусідніх (тобто таких, які безпосередньо межують між собою) регіонів. Зна-

чення цієї змінної пропорційне концентрації вуглецю в атмосфері над сусідніми регіонами, тобто

$$y_r = \sum_{j=1, j \neq r}^M \theta_{rj} x_{ja}, \quad (2)$$

де θ_{rj} — коефіцієнти пропорційності, які визначаються на основі наступних міркувань. Нехай L_{rj} — спільна границя r -го та j -го регіонів. Таку границю бажано проводити через сітку метеорологічних станцій, які здійснюють регулярні заміри напрямку і сили вітру. Отже, можна припустити, що для кожної точки границі поділу регіонів відома так звана "роза вітрів" — векторна діаграма, яка характеризує режим вітру в даному місці за результатами багаторічних спостережень. Довжини векторів, що розходяться від центру діаграми у різних напрямках, пропорційні повторюваності та сили вітру цих напрямків. Суму векторів рози вітрів у досліджуваній точці позначимо через \vec{w} . Цей сумарний вектор є функцією часу і залежить від місця спостереження.

Враховуючи сказане, потік вуглецю через границю поділу між r -м та j -м регіонами можна обчислити за допомогою очеви.дної формули

$$y_{rj}(t) = x_{ja} k_{j\theta} \int_0^{L_{rj}} w(l, t) \cos \psi(l, t) dl,$$

де y_{rj} — зовнішній по відношенню до r -го регіону потік вуглецю із сусіднього j -го регіону; $k_{j\theta}$ — коефіцієнт перерахунку загального вмісту вуглецю (в атмосфері над j -м регіоном) в усереднену по висоті його концентрацію, $\psi(l, t)$ — кут між сумарним вектором рози вітрів і нормаллю до границі розділу, причому спрямована ця нормаль всередину r -го регіону. Отже, для коефіцієнтів θ_{rj} можна записати формулу $\theta_{rj} = k_{j\theta} \int_0^{L_{rj}} w(l, t) \cos \psi(l, t) dl$.

Після підстановки усіх виразів зв'язку (2) у рівняння (1) для всіх регіонів планети ($r = 1, 2, \dots, M$) отримуємо математичну модель глобального кругообігу вуглецю у вигляді

$$X' = F(X, V, t), \quad (3)$$

де $X = \|X_1, X_2, \dots, X_M\|^T$ — матриця-стовпець невідомих, $V = \|\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_M\|^T$ — матриця-стовпець внутрішніх (регіональних)

викидів вуглецю в атмосферу. Число рівнянь і число невідомих в цій моделі дорівнює $n = M + \sum_{r=1}^M (3n_{rg} + 4n_{rf})$.

Система рівнянь (3) є в загальному випадку системою великої розмірності з досить складними правими частинами. Для її числового розв'язування використовується підхід, який враховує "латентність" — суттєві відмінності в швидкостях протікання окремих складових досліджуваних процесів.

Третій розділ присвячено математичному моделюванню потоків вуглецю між окремими блоками системи "атмосфера-рослина-грунт" на регіональному рівні. Зокрема розглянуто математичні моделі процесу фотосинтезу з метою оцінки динаміки зміни біомаси рослин під впливом таких факторів зовнішнього середовища, як вміст вуглекислого газу в атмосфері, температура повітря, кількість фотосинтетично активної радіації, забруднення навколишнього середовища, поря року та інші.

Для ряду типів рослин проаналізовано залежність величини фотосинтезу від температури. Показано, що максимуми величини фотосинтезу відповідають певним оптимальним температурам, які є різними для різних типів рослин. Досліджено також залежність процесу фотосинтезу від освітленості. При цьому враховано інтенсивності падаючої та відбитої довгохвильової сонячної радіації та фотосинтетично активного короткохвильового опромінення.

Денна сукупна доза опромінення визначається шляхом інтегрування вказаних вище інтенсивностей за період від сходу сонця до його заходу. Поширення фотосинтетично активного опромінення всередині крони дерев моделюється законом Ламберта. Показано, що для різних типів рослин характерні різні оптимальні умови фотосинтезу в залежності від освітленості. В розділі досліджено також залежності величини фотосинтезу від концентрації вуглекислого газу в повітрі.

Використовуючи розглянуті залежності процесу фотосинтезу від температури, освітленості та вмісту вуглекислого газу в атмосфері, побудовано математичну модель, яка відображає динаміку приросту біомаси різних типів рослин. При цьому припускається, що температура повітря та освітленість змінюється за періодичним законом (близьким до гармонічного).

Проаналізовано вирази для потоків вуглецю, як входять в математичну модель крутобігу на регіональному рівні. Зокрема, розгля-

нуто потік вуглецю, який відображає процес споживання атмосферного вуглекислого газу на побудову біомаси рослин (потік вуглецю з блоку "атмосфера" в блоки "зелена фітомаса"). Аналітичні вирази для цього потоку відображають динаміку споживання атмосферного вуглецю в залежності від енергії сонячної радіації, концентрації вуглекислого газу в атмосфері, температури, забрудненості середовища, вологості ґрунту та біомаси рослин. Вказані залежності розглянуто окремо для трав'яних і для лісових підсистем.

Розглянуто математичні моделі для опису потоків вуглецю, пов'язаних з розкладанням мертвої органічної речовини (потік вуглецю з блоку "підстилка і кореневі залишки" в блок "атмосфера") та гумусу (потік з блоку "гумус" в блок "атмосфера"). Ці процеси залежать від температури, вологості ґрунту і забрудненості середовища. Розглянуто математичні описи для процесу відмирання деревини та коренів в лісових підсистемах, а також моделі інших потоків.

В четвертому розділі описано створені програмні засоби для моделювання кругообігу вуглецю в окремому регіоні та подано результати числових експериментів по імітаційному моделюванню цього процесу і дослідженню окремих його складових.

Детально проаналізовано процес фотосинтезу та його залежності від температури, освітленості та концентрації вуглекислого газу в повітрі. Досліджено сезонну залежність величини фотосинтезу, показано наявність двох максимумів приросту біомаси на протязі теплої пори року.

Здійснено імітаційне моделювання кругообігу вуглецю в регіональній системі "атмосфера-рослини-ґрунт", зокрема досліджено динаміку зміни вмісту вуглекислого газу в атмосфері, спричинену його раптовим викидом (вулканічна діяльність). Показано, що досліджувана система намагається при цьому зменшити вплив раптового викиду і переходить в нове положення рівноваги, тобто має місце від'ємний зворотній зв'язок. Показано динаміку зміни вмісту вуглецю в деревині та гумусі в ході перехідного процесу. Здійснено числове моделювання і дослідження аналогічних залежностей для процесу постійного викиду вуглекислого газу в атмосферу (господарська діяльність).

Програмні засоби створено з використанням мови Turbo Pascal.

В додатку наводяться тексти програм.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1. Розроблено діакоптичний підхід до математичного моделювання глобального кругообігу вуглецю в біосфері, який базується на розбитті планети на ряд регіонів і описі кожного з них своєю математичною моделлю та враховується зв'язок сусідніх регіонів через атмосферу. Запропонований підхід розширює область адекватності моделі, дає можливість враховувати неоднорідність протікання біохімічних процесів у різних регіонах планети, здійснювати імітаційне моделювання:

- впливу екологічних катастроф в окремих регіонах на клімат планети;

- результатів керованого і некерованого антропогенного впливу на природу;

- вплив на процеси кругообігу вуглецю таких факторів, як зміна площ сільськогосподарських угідь, вирубування лісів, лісові пожежі, меліоративні роботи та інші.

2. Запропоновано та обгрунтовано процедуру формування регіональної математичної моделі кругообігу вуглецю, яка базується на розбитті кожного регіону на ряд трав'яних і лісових підсистем та враховує потоки вуглецю між окремими блоками цих підсистем. При цьому суттєво спрощується процедура визначення параметрів протікання біохімічних процесів. В модель входять блоки, які відображають антропогенні і неантропогенні викиди вуглецю в атмосферу, а також потоки вуглецю із сусідніх регіонів.

3. Розроблено метод формування математичної моделі глобального кругообігу вуглецю на основі регіональних моделей та рівнянь зв'язку, які відображають взаємний зв'язок сусідніх регіонів через атмосферу. При формуванні рівнянь зв'язку використовуються дані про "розу вітрів" в точках межі поділу регіонів.

4. Для регіональних моделей кругообігу вуглецю проаналізовано та обгрунтовано вибір аналітичних виразів для опису потоків вуглецю між окремими блоками в системі "атмосфера-рослина-грунт".

5. Для числового розв'язування рівнянь моделі запропоновано алгоритм, який враховує суттєві відмінності в швидкостях протікання окремих складових процесу кругообігу вуглецю.

6. Створено програми засоби та здійснено імітаційне моделювання кругообігу вуглецю для окремого регіону, досліджено динаміку зміни вмісту вуглекислого газу в атмосфері, спричинену як його раптовим,

так і постійним викидами, а також досліджено сезонну залежність величини фотосинтезу та продуктивності рослин з врахуванням зміни температури, освітленості та концентрації вуглекислого газу в повітрі.

ОСНОВНІ РОБОТИ, ОПУБЛІКОВАНІ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Грицик В.В., Бунь Р.А., Дачук В.С. Діакоптичний підхід до моделювання біогеохімічного кругообігу вуглецю в біосфері // Доповіді НАН України.- 1997.- №4.- С.77-81.
2. Бунь Р.А., Дачук В.С. Моделирование глобального и регионального круговоротов углерода в биосфере // Проблемы управления и информатики.- 1997.- №2.- С.141-148.
3. Hrytsyk V.V., Bun R.A., Dachuk V.S. Diaoptical approach for modelling global carbon cycle in the biosphere / Fourth Ukraine-Russia-China symposium on space science and technology.- V.1.- Kyiv, 1996.- P.98-100.
4. Дачук В.С. Програмні засоби для моделювання кругообігу біосферного вуглецю / Друга українська конференція з автоматичного керування "Автоматика-95": Праці.- Т.2.- Львів, НВЦ "ІТІС", 1995.- С.25.
5. Бунь Р.А., Дачук В.С. Математичне моделювання кругообігу вуглецю в біосфері / Всеукраїнська наукова конференція "Розробка та застосування математичних методів в науково-технічних дослідженнях": Тези доп.- Львів, 1995.- Ч.3.- С.17-18.
6. Бунь Р.А., Дачук В.С. Діакоптичний підхід при моделюванні кругообігу біосферного вуглецю в задачах управління екологічними системами / Друга українська конференція з автоматичного керування "Автоматика-95": Праці.- Т.2.- Львів, НВЦ "ІТІС", 1995.- С.15-16.
7. Бунь Р.А., Дачук В.С. Информационные технологии моделирования биогеохимического круговорота углерода / Теория и техника передачи, приема и обработки информации: Тез. докл. 2-й междунар. конф.- Харьков-Туапсе.- Ч.2.- 1996.- С.264-265.
8. Дачук В.С. Діакоптичний підхід при математичному моделюванні глобального кругообігу вуглецю в біосфері / Всеукраїнська наукова конференція "Комп'ютерні технології друкарства: алгоритми,

сигнали, системи": Наукові праці.- Львів, 1996.- С.83-84.

9. Дачук В.С. Математична модель глобального біогосхімічного циклу вуглецю, яка базується на моделях регіональних циклів / Праці 3-ї Української конференції з автоматичного керування "Автоматика-96".- Т.3.- Севастополь: СевДТУ, 1996.- С.193.

10. Hrytsyk V.V., Bun R.A., Dachuk V.S. Diaoptical approach for modelling global carbon cycle in the biosphere / Proc. International Conf. on Sustainable Development: System Analysis in Ecology.- Sevastopol, 1996.- P.32-33.

Дачук В.С. Діакоптический підхід до моделювання глобального кругообігу вуглецю в біосфері.- Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 — математичне моделювання та обчислювальні методи.- Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури Національного агентства з питань інформатизації при Президентові України. Львів, 1997.

Розроблено діакоптический підхід до моделювання кругообігу вуглецю в біосфері, який враховує специфіку протікання біохімічних процесів у різних регіонах планети. Модель глобального кругообігу формується на основі моделей регіональних кругообігів та виразів зв'язку, що відображають взаємний вплив сусідніх регіонів через атмосферу. Проаналізовано потоки вуглецю між окремими блоками в системі "атмосфера-рослина-грунт". Розроблено алгоритми та програмні засоби імітаційного моделювання.

Ключові слова: кругообіг вуглецю, біосфера, математична модель, діакоптический підхід, числовий метод, імітаційне моделювання.

Дачук В.С. Діакоптический подход к моделированию глобального круговорота углерода в биосфере.- Рукопись.

Дисертація на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02 — математическое моделирование и численные методы.- Государственный научно-исследовательский институт информационной инфраструктуры Национального агентства по вопросам информатизации при Президенте Украины, Львов, 1997.

Разработан диакоптический подход к моделированию круговорота углерода в биосфере, который учитывает специфику протекания биохимических процессов в различных регионах планеты. Мо-

дель глобального кругооборота формируется на основе моделей региональных кругооборотов и уравнений связи, которые отображают взаимное влияние соседних регионов через атмосферу. Проанализированы потоки углерода между отдельными блоками в системе "атмосфера-растения-почва". Разработан алгоритм и программные средства имитационного моделирования.

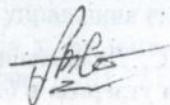
Ключевые слова: кругооборот углерода, биосфера, математическая модель, диакоптический подход, численный метод, имитационное моделирование.

Dachuk V.S. Diacopectical approach to modelling the global carbon cycle in biosphere.- Manuscript.

Thesis for a candidate's degree by speciality 01.05.02 — mathematical modelling and numerical methods.- State scientific and research institute of information infrastructure of the National agency on informatization by the President of Ukraine, Lviv, 1996.

The diacopectical approach is developed for modelling carbon cycle in the biosphere, which takes into account the distinctive features of biochemical processes continuance in different regions of the planet. The model of global cycle is formed on the basis of regional cycles models and constraint equations which display mutual influence of the neighbouring regions through the atmosphere. Flows of carbon between separate blocks in system "atmosphere-plants-soil" are analysed. Algorithm and software for simulation is developed.

Key words: carbon cycle, biosphere, mathematical model, diacopectical approach, numerical method, simulation.



Підписано до друку 24.XI.97р. Формат 6х84/16.
Об'єм Ідрук.лист. Зам.473. Тир.100. Безплатно.
Львів. Личаківська,3. Друкарня УАД.

430836

AB 39.060